

cirad

LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT



Fórum Brasil Sobre Biomassa e Energia

3 a 5 de Outubro de 2012

Viçosa - MG

Tratamento térmico da biomassa

Patrick ROUSSET (Cirad)

Contexto : Limitations of biomass as fuel

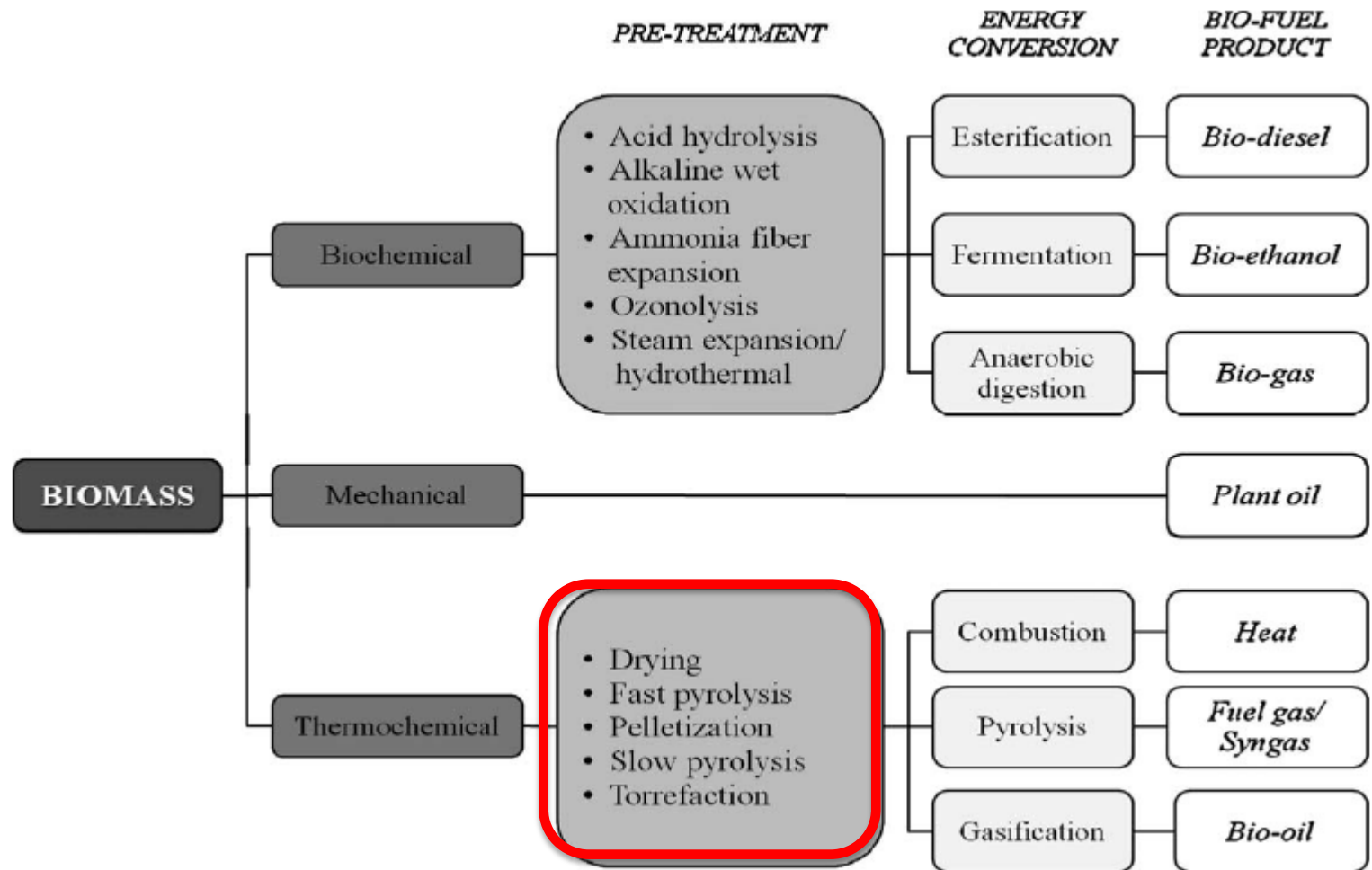
Comparada com combustíveis fósseis:

- Baixa densidade a granel.
- Alto teor de umidade.
- Natureza hidrofílica.
- Baixo poder calorífico.



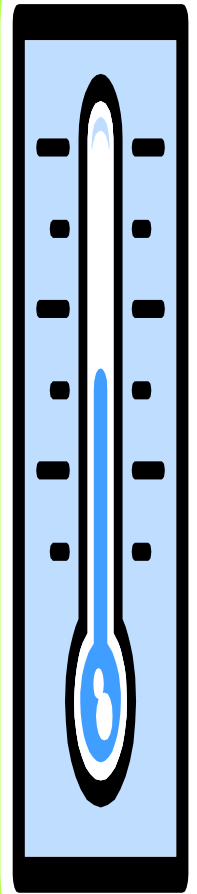
- Dificuldade de usar biomassa in-natura em larga escala;
- É necessário usar grande quantidade de biomassa;
- Problemas associados à estocagem, transporte e alimentação de equipamentos (manipulação necessária);
- Logística do impacto e eficiência energética final.

Resumo das principais rotas de conversão de biocombustíveis

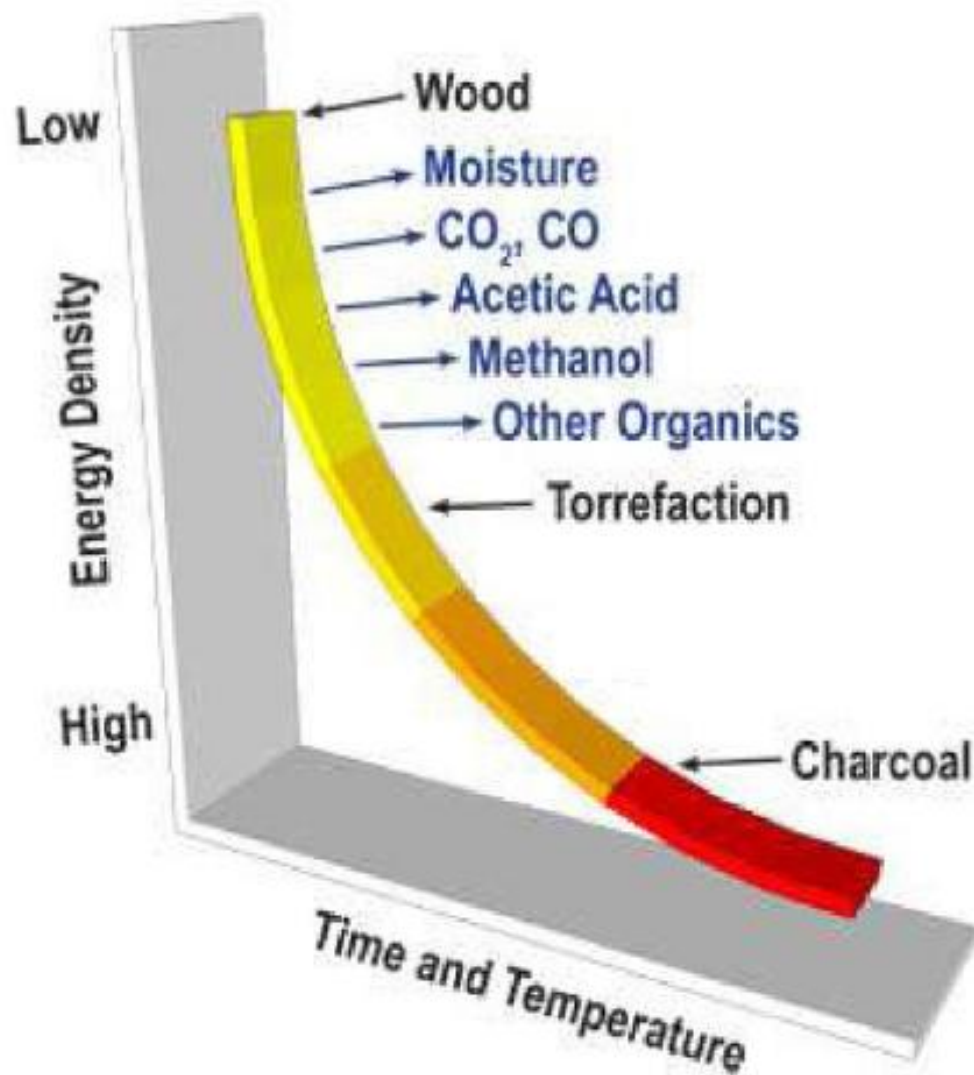


Definição : Degradação térmica da biomassa

- Combustão ($<1000^{\circ}\text{C}$): calor
- Gaseificação (700 até 1000°C): gases
- Carbonização (300 até 700°C): carvão vegetal
- Torrefação (200 até 300°C): madeira torrada
- Secagem (até 120°C): biomassa original



Pirólise: Aumento da densidade energética



Definição

- Torrefação é um tratamento térmico usado para melhorar as propriedades da biomassa relacionadas às técnicas de processamento termoquímico para a geração de energia.
- É um método de tratamento termoquímico primariamente caracterizado pela operação na faixa de temperatura entre 200 e 300° C.
- É conduzido em pressão atmosférica e na presença de uma quantidade mínima de oxigênio, visando evitar a combustão espontânea.



Histórico

- A torrefação não é um processo novo e é objeto de intensas pesquisas científicas há muitas décadas;
- Inicialmente prevista para produzir um substituto ao carvão vegetal;
- 1985-1990 : Pesquisas orientadas para a produção de madeira para uso na construção;
- 2000-Hoje : Voltada para fins energéticos e químicos.

Objetivos da torrefação

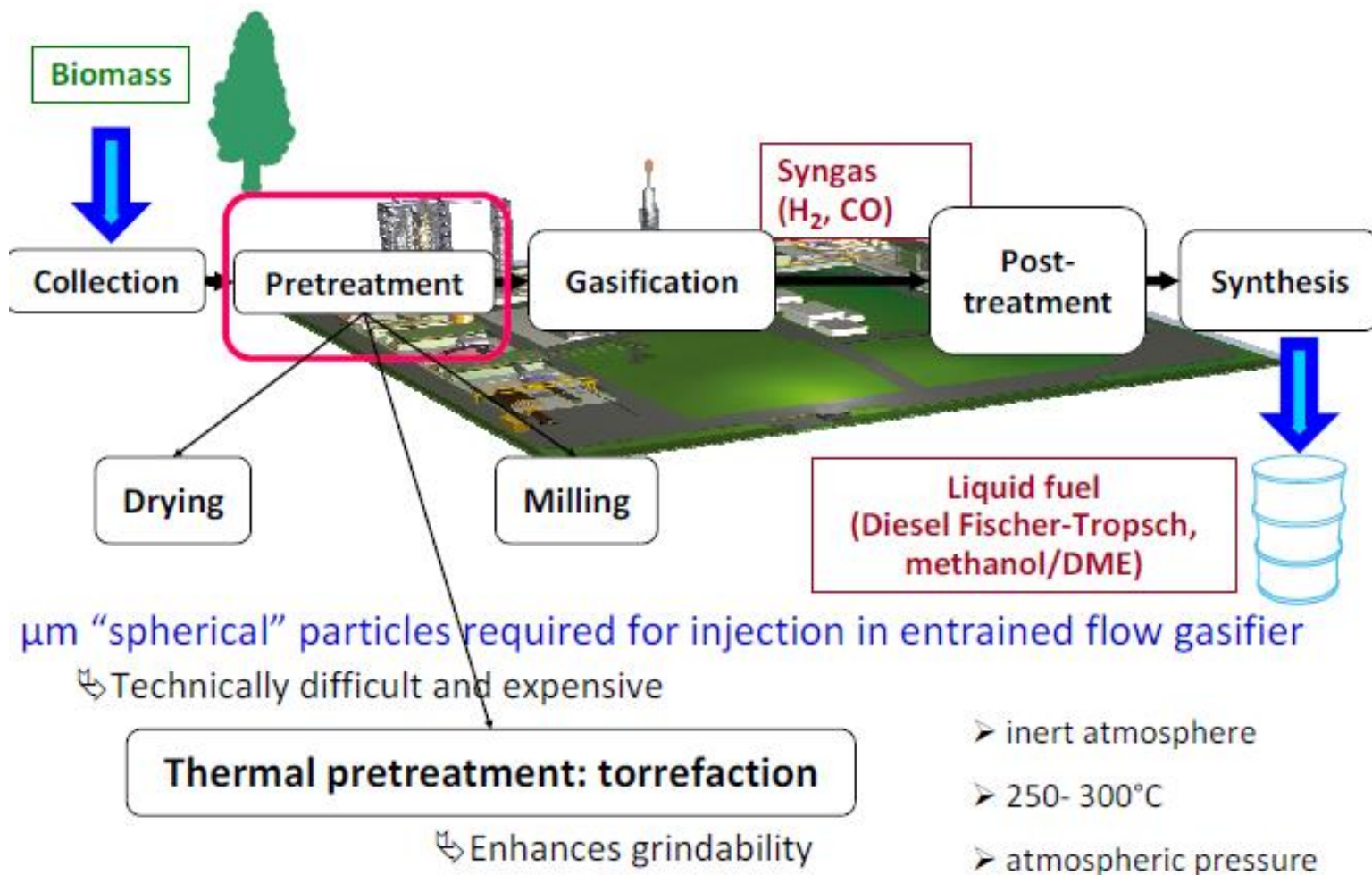
Objetivos:

- Produzir um combustível com características físicas, mecânicas e energéticas adaptadas ao gaseificadores com injeção mista ($< 0,2\text{mm}$);
- Produção de multi-produtos condensáveis com alta padronização;

Consequencias:

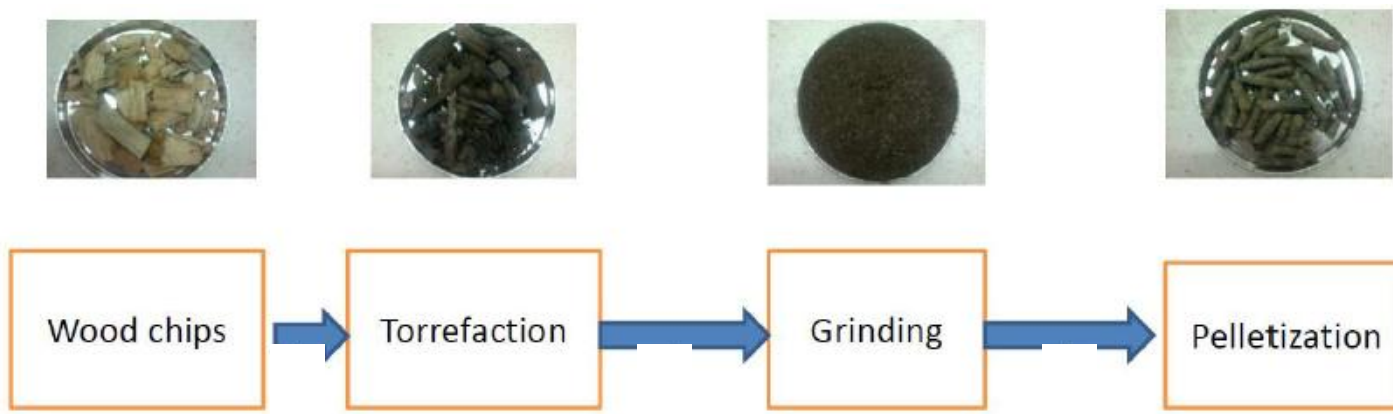
- Redução do custo de moagem, aumentando a friabilidade
- Uso na co-combustão com carvão mineral, o que proporcionaria benefícios ambientais pela redução de emissões de dióxido de enxofre;

Esquema global para a produção de biocombustíveis



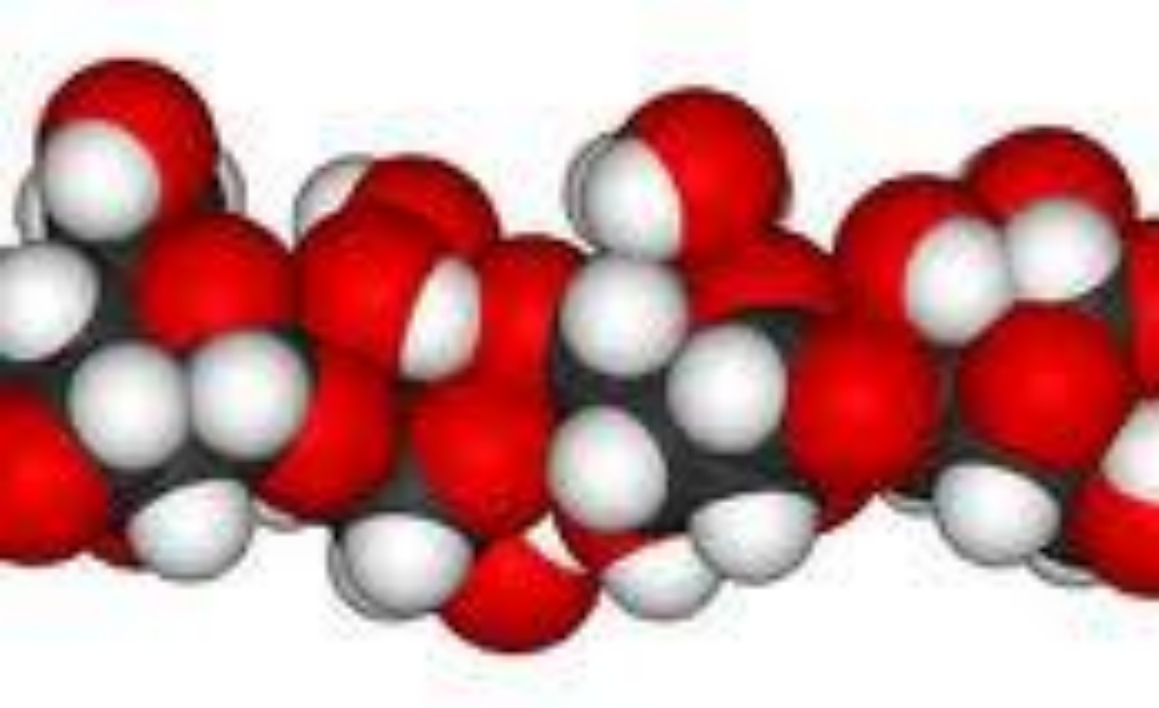
Exemplo de uso da Torrefação em vias termoquímicas

Compactação

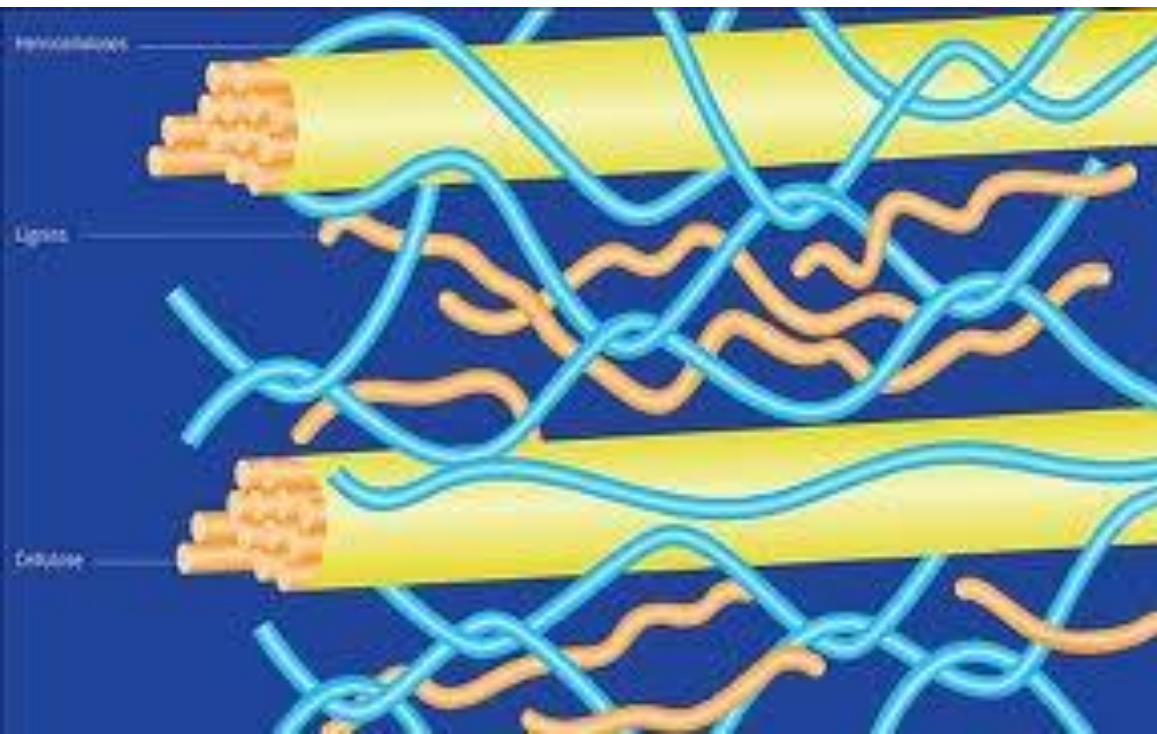


Gaseificação

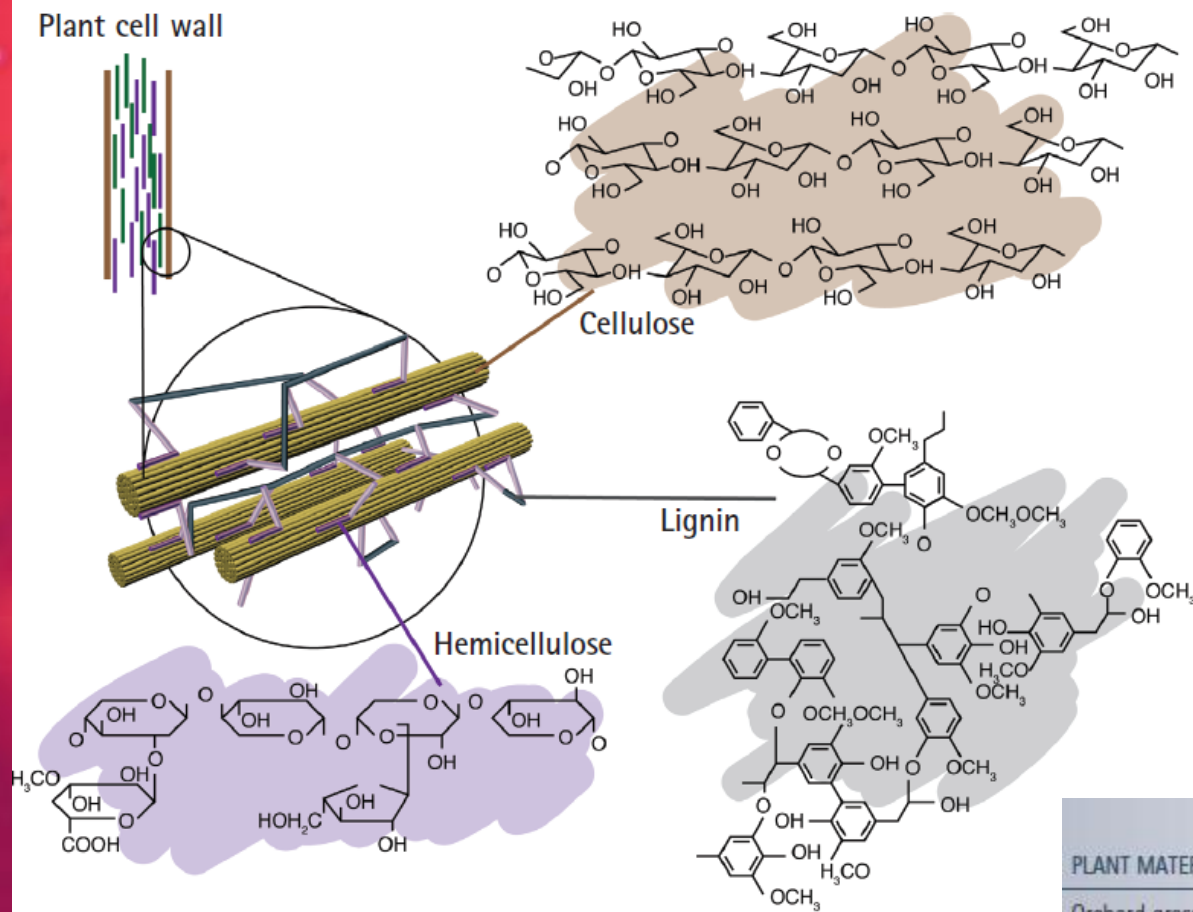




OS FENÔMENOS REACIONAIS



Estrutura química da biomassa



PLANT MATERIAL	LIGNOCELLULOSIC CONTENT (%)		
	HEMICELLULOSE	CELLULOSE	LIGNIN
Orchard grass (medium maturity)	40.0	32.0	4.7
Rice straw	27.2	34.0	14.2
Birch wood	25.7	40.0	15.7
Reed canary grass	29.7	42.6	7.6
Wheat straw	30.8	41.3	7.7
Willow	14.1	49.3	20.0

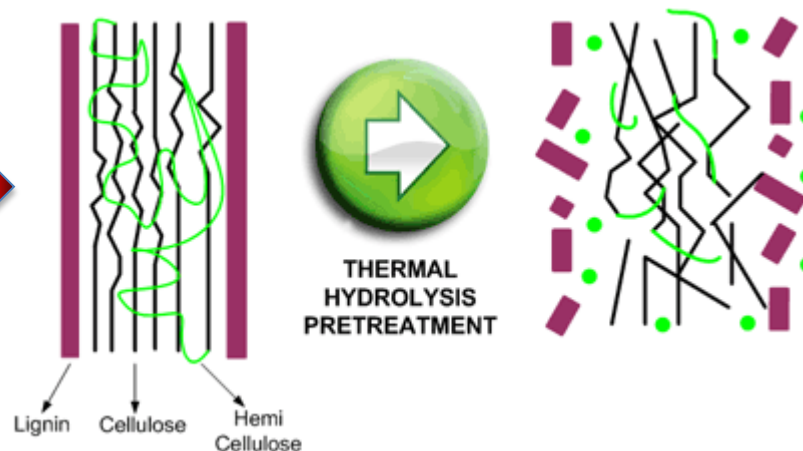
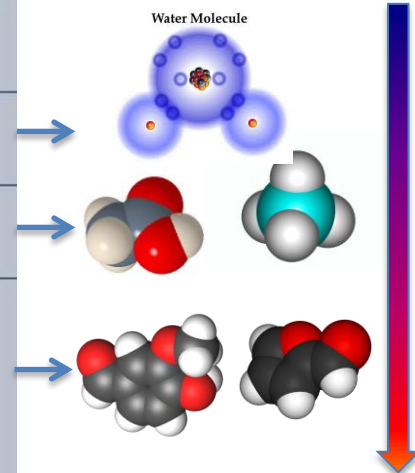
Fenômenos reacionais

Variáveis do processo de tratamento térmico para diferentes regimes de temperatura

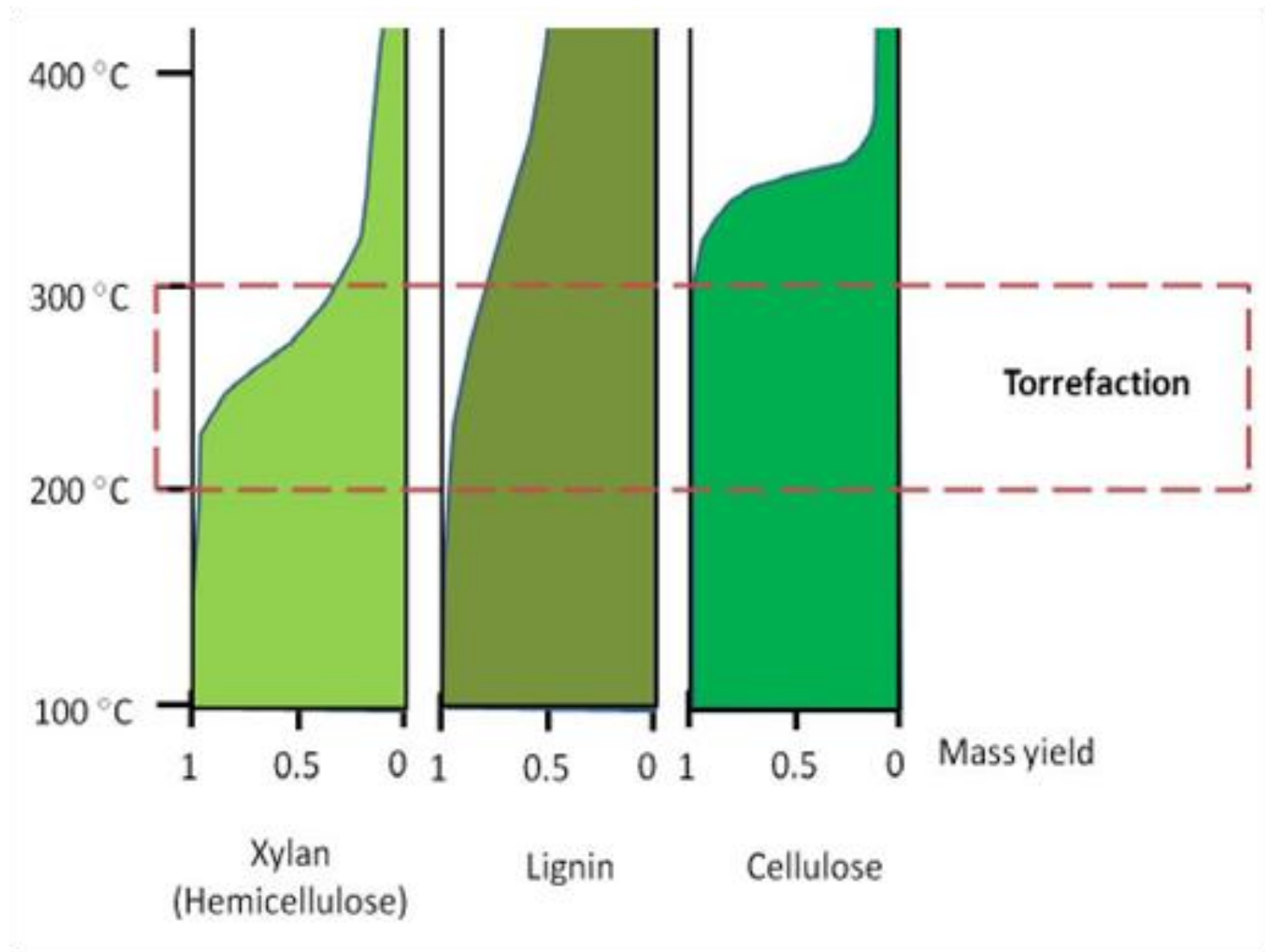
- Peso molecular

+ Peso molecular

TEMPERATURE (°C)	TIME (min)	PROCESS REACTIONS	HEATING RATE (°C/min)	DRYING ENVIRONMENT AND PRESSURE	MASS YIELD (%)	ENERGY YIELD (%)
50-150	30-120	Nonreactive drying (moisture removal and structural changes)	<50	Air and ambient pressure	~90-95	Not significant
150-200	30-120	Reactive drying (moisture removal and structural damage due to cell wall collapse)	<50	Air and ambient pressure	~90	Needs to be researched
200-300	<30	<div><div>Destructive drying</div><div><ul style="list-style-type: none">➤ Devolatilization and carbonization of hemicellulose➤ Depolymerization and devolatilization/softening of lignin➤ Depolymerization and devolatilization of cellulose</div></div>	<50	Inert environment and ambient pressure	~70	~90



Fenômenos reacionais



Raw

Torrefied



Pine

Raw

Torrefied



Miscanthus

Raw

Torrefied

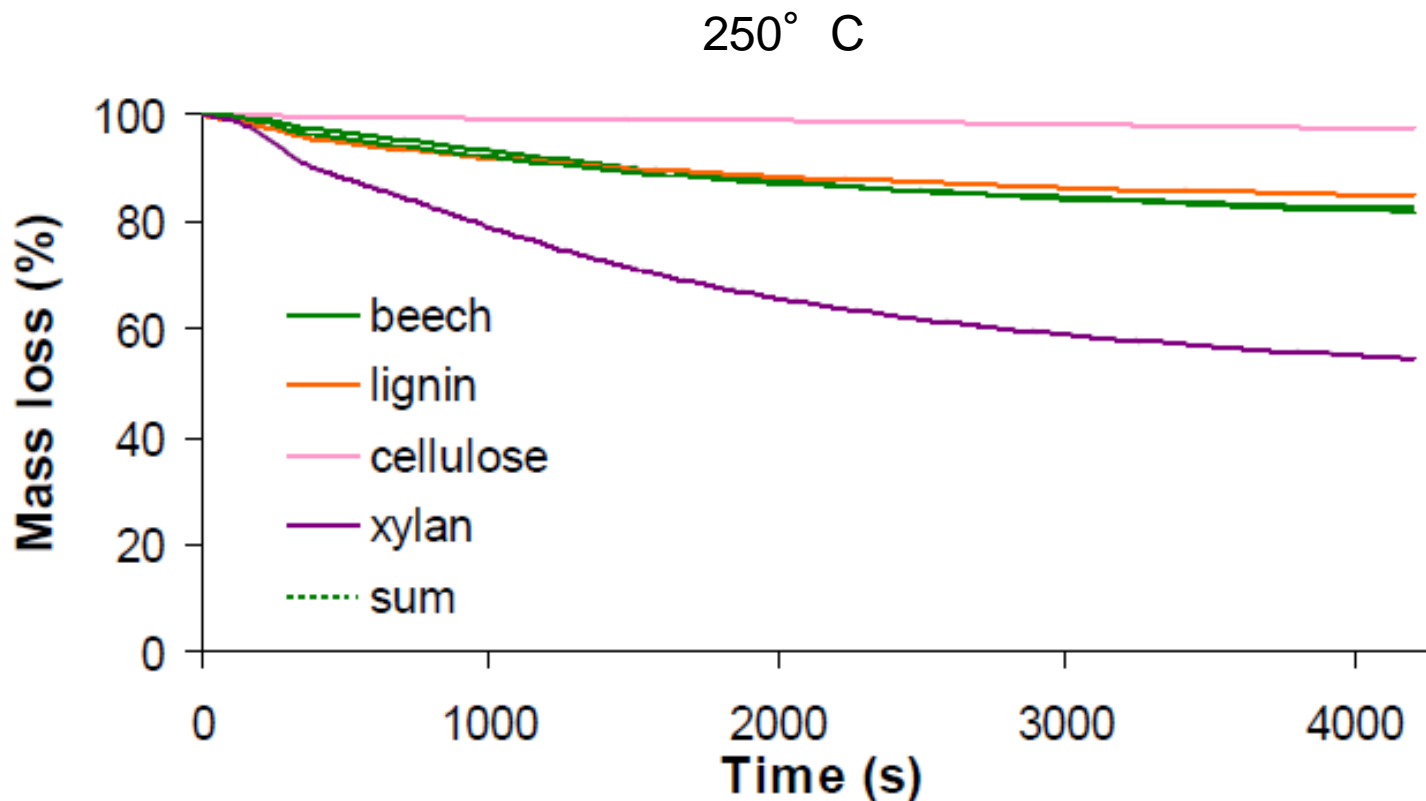


Wheat straw

Os produtos finais

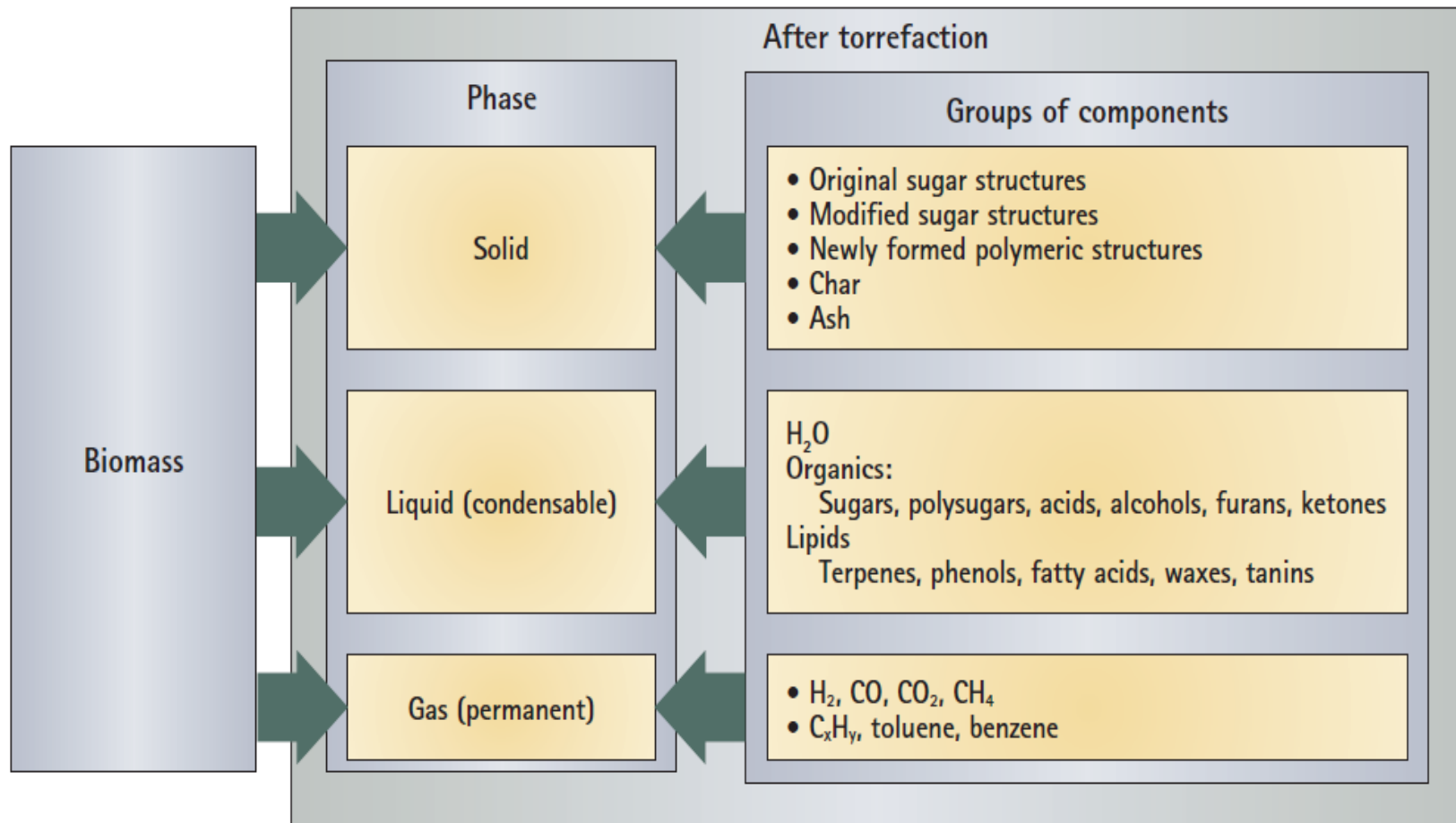


Análise termogravimétrica



- Lignin: smooth and continuous mass loss
- Xylan: significant mass loss
- Cellulose: nearly no mass loss
- Additive law: OK

Fenômenos reacionais: produtos formados

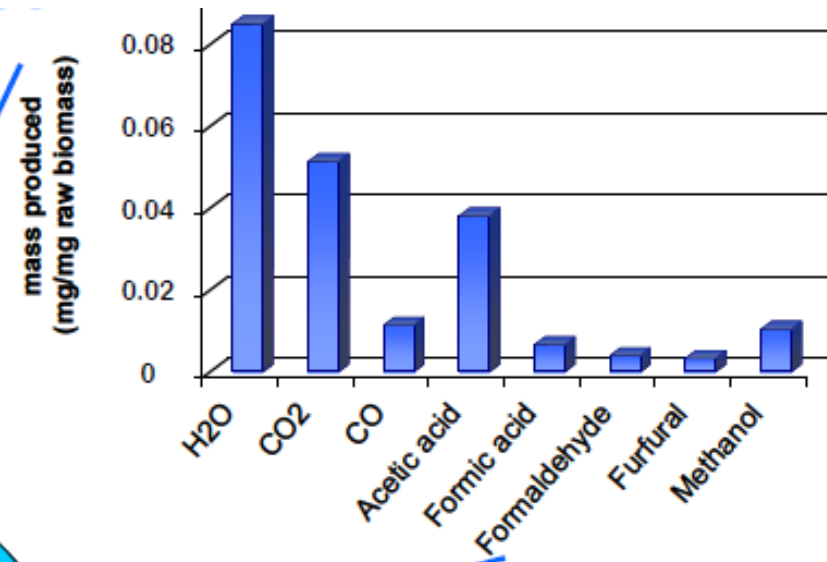
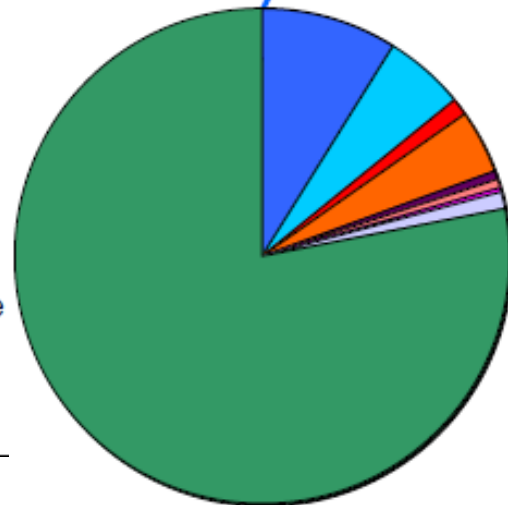


Produtos formados durante a torrefação de biomassa

Fenômenos reacionais: produtos formados

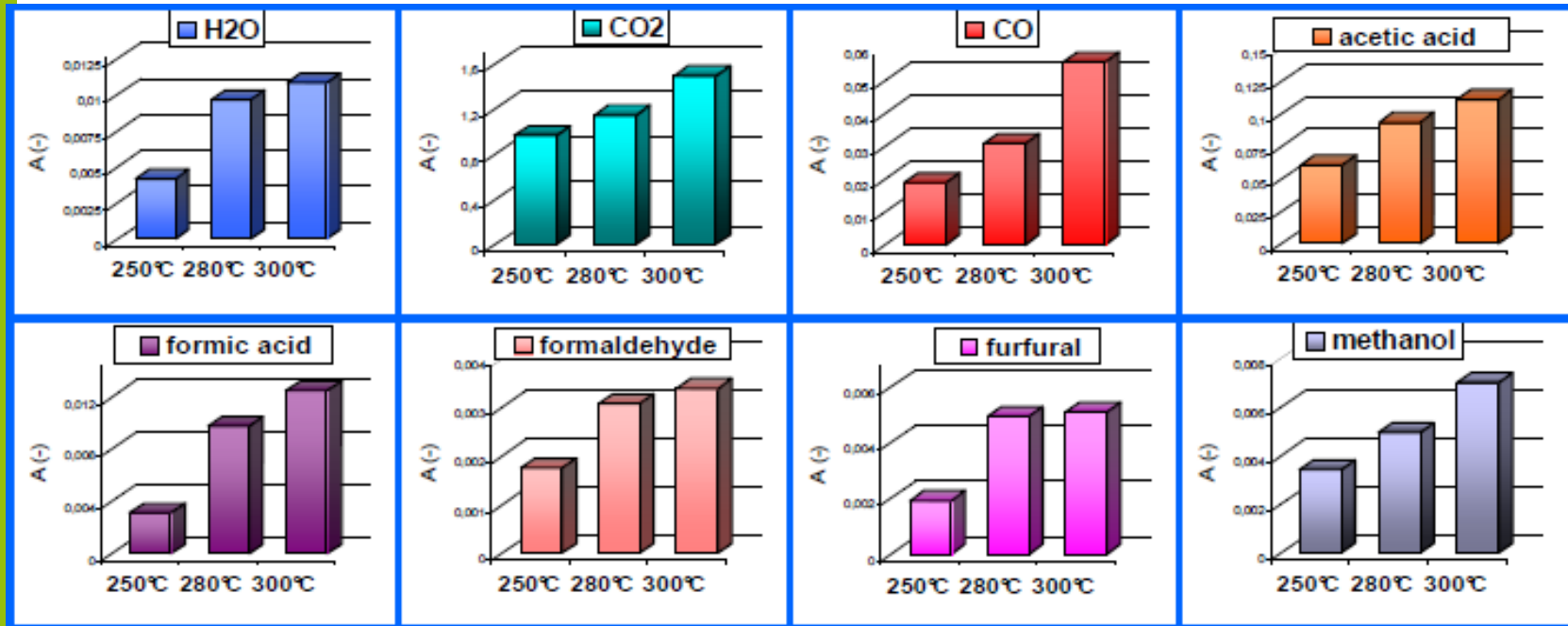
Torrefaction of beech
(280°C, 1h)

■ H₂O
■ CO₂
■ CO
■ Acetic acid
■ Formic acid
■ Formaldehyde
■ Furfural
■ Methanol
■ solid



- Main products: H₂O, CO₂, acetic acid
- Significant yields of other species

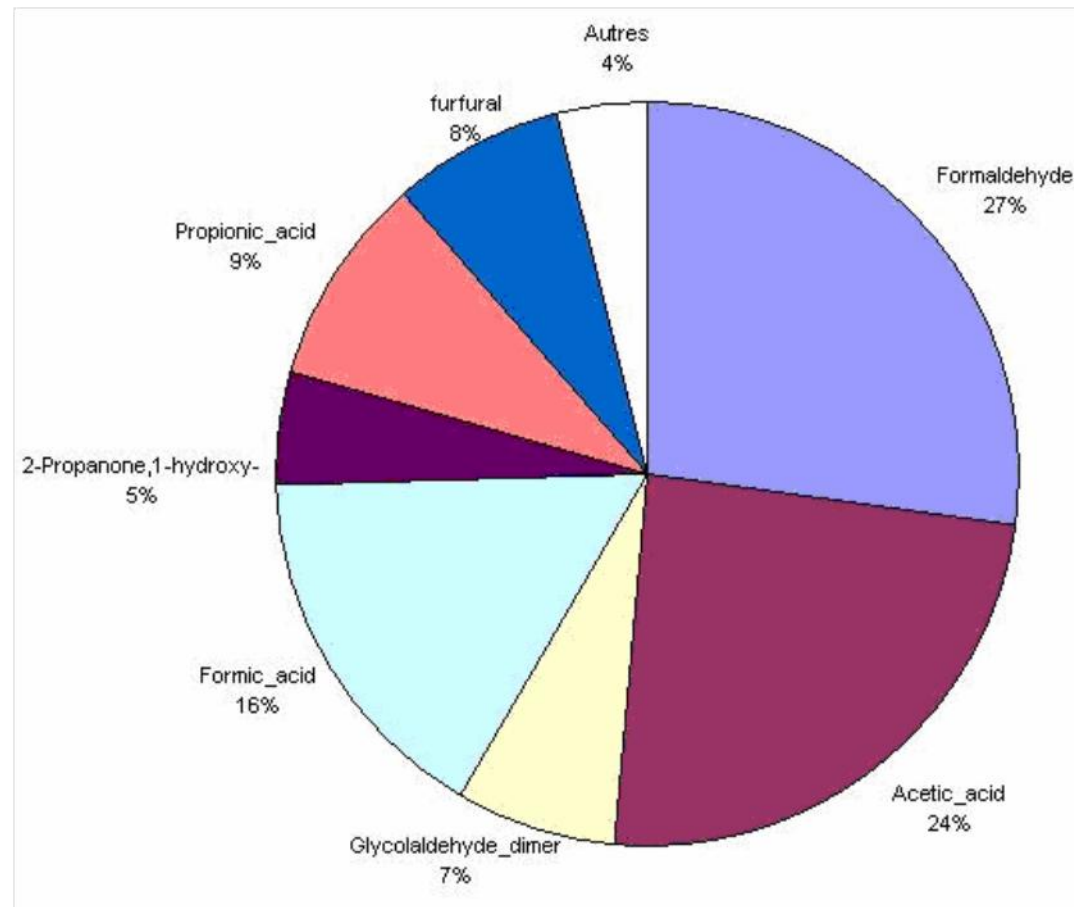
Fenômenos reacionais : produtos formados



Valores das principais espécies gasosas formadas vs temperatura

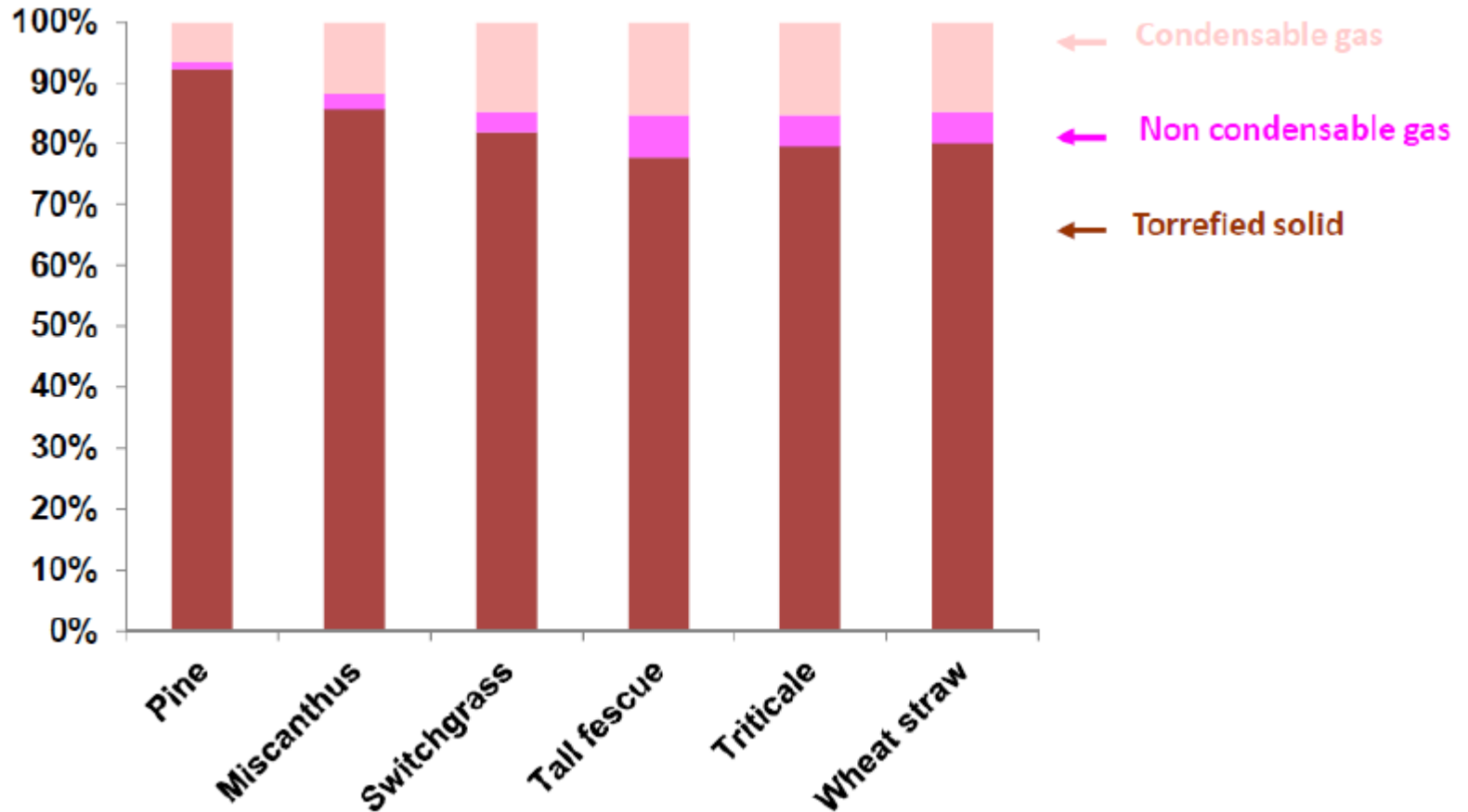
Aumento da temperatura → Aumenta o rendimento em gás

Fenômenos reacionais: produtos formados



Quantificação completa das espécies condensáveis

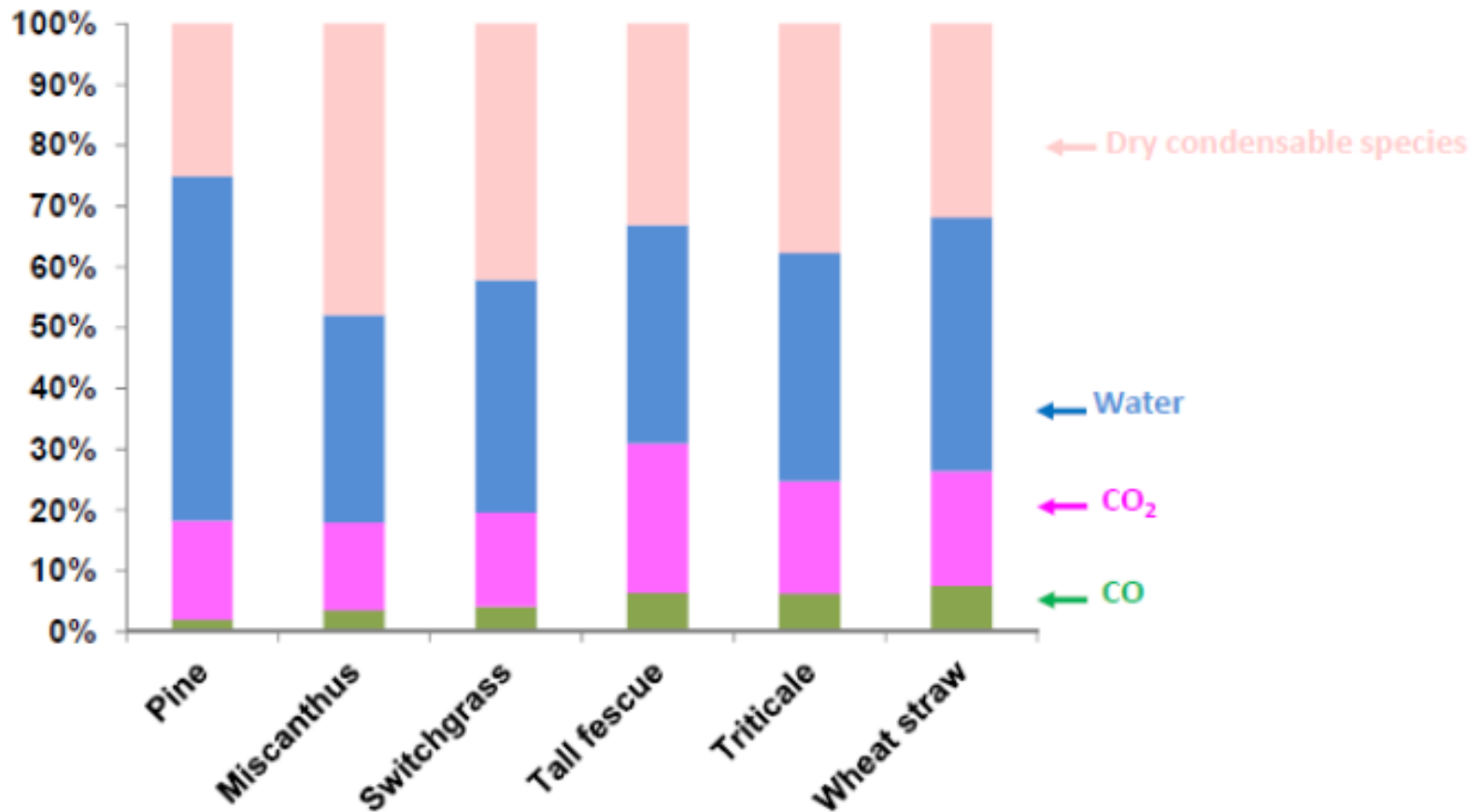
Produtos formados : 6 biomassas



Balanço de massa global

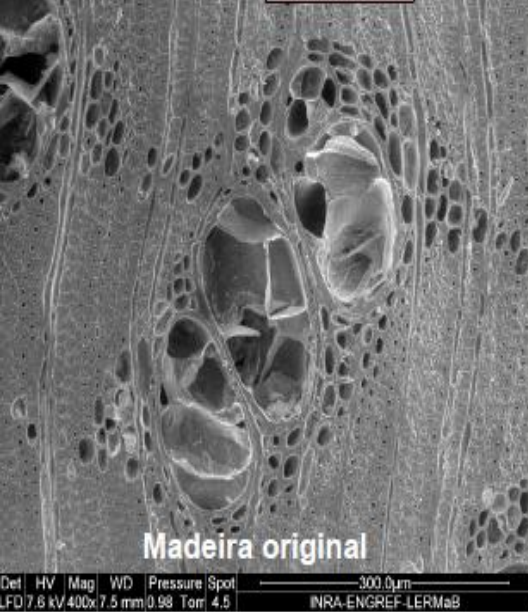
- Perda de massa maior para os resíduos agrícolas
- Voláteis são principalmente os condensáveis

Produtos formados : 6 biomassas

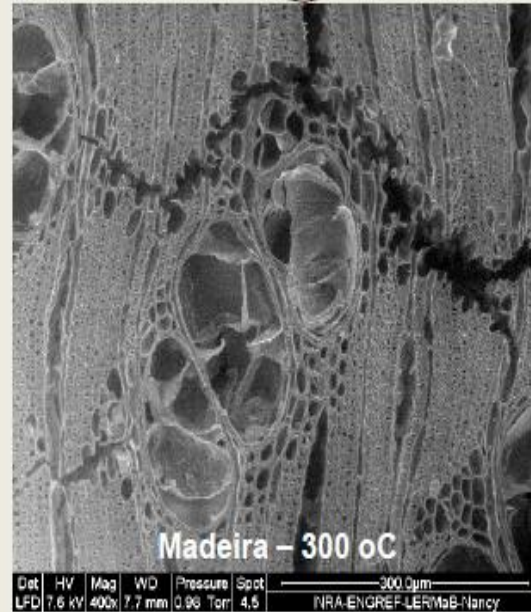


Balanço de massa das espécies voláteis

- CO/CO₂ similares para todas as biomassas
- Água e condensáveis diferentes entre pinus e resíduos agrícolas

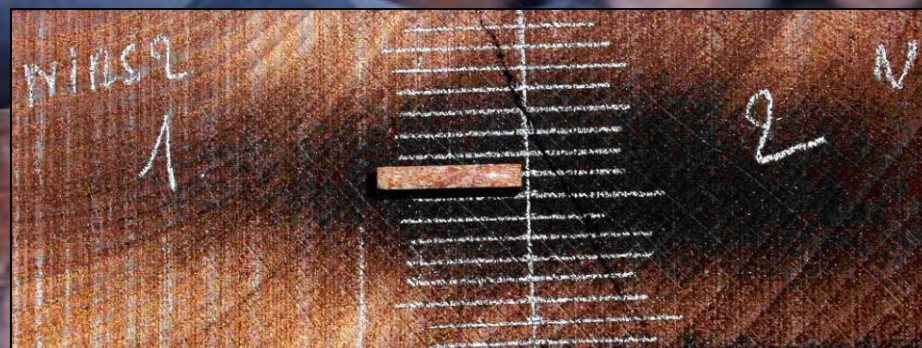


Madeira original



Madeira – 300 °C

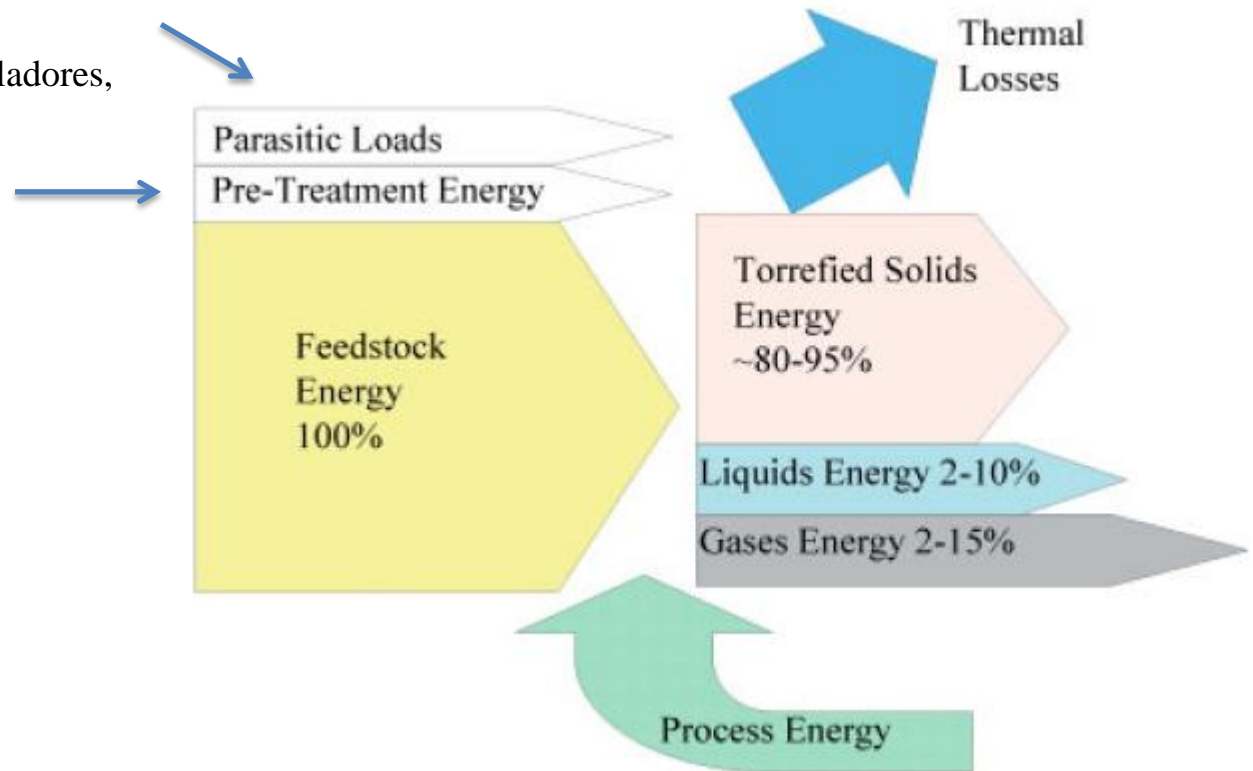
Algumas propriedades da biomassa torrada



Eficiência do processo de torrefação

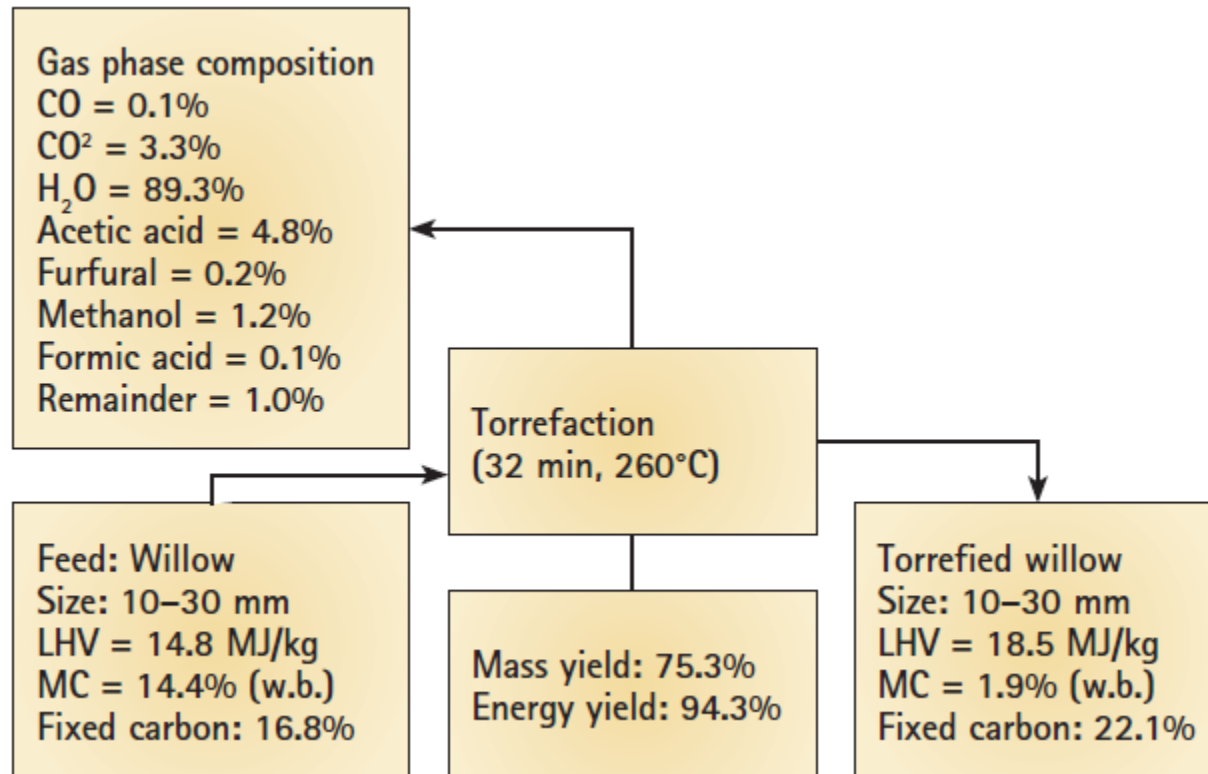
Insumos energéticos
necessários ao
funcionamento do
equipamento de
torrefação (ventiladores,
bombas, etc.)

Transformação
em chips e/ou
trituração e
secagem.



Balanço energético do processo de torrefação, assumindo reação isentálpica. (D Cielkosz, R Wallace, 2011)

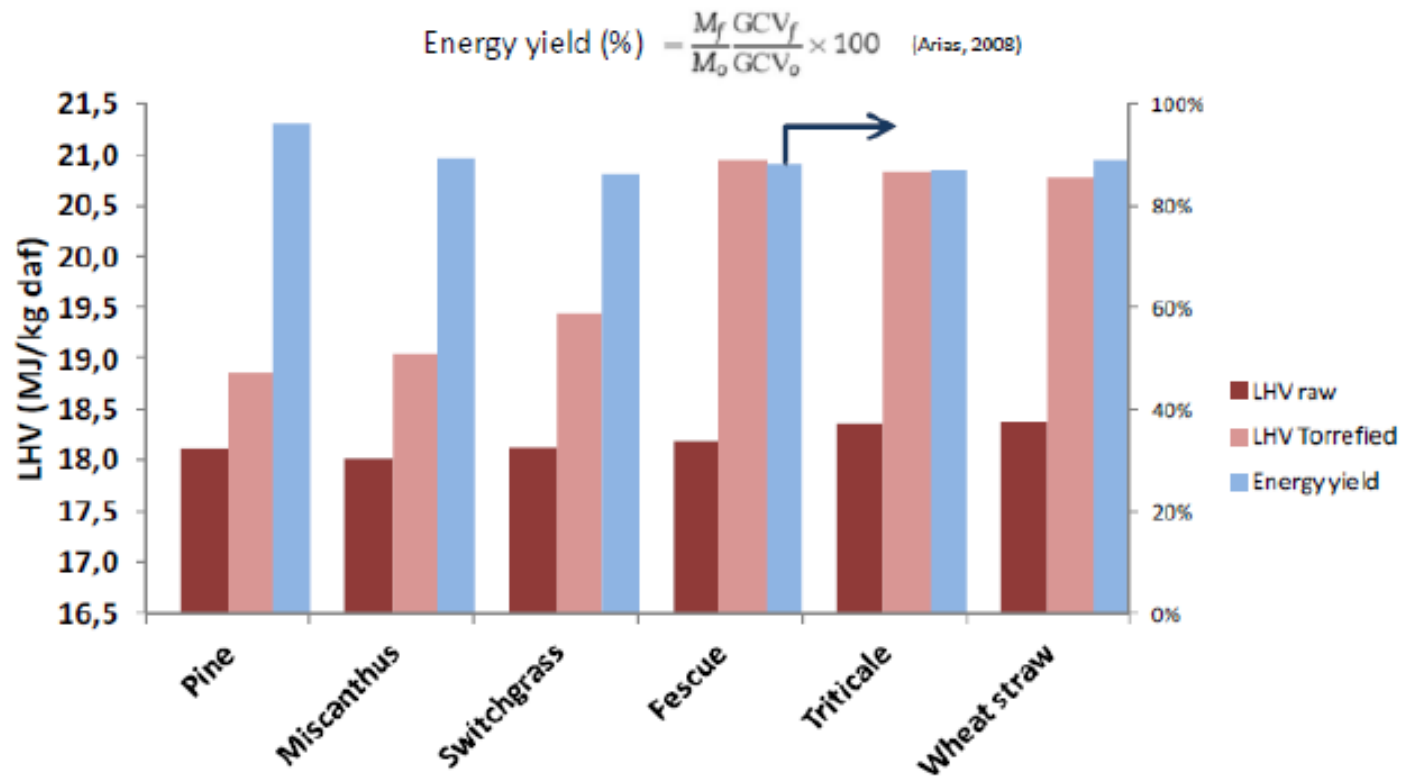
Eficiência do processo de torrefação



Resultados experimentais típicos da torrefação de willow (Kiel, 2007)

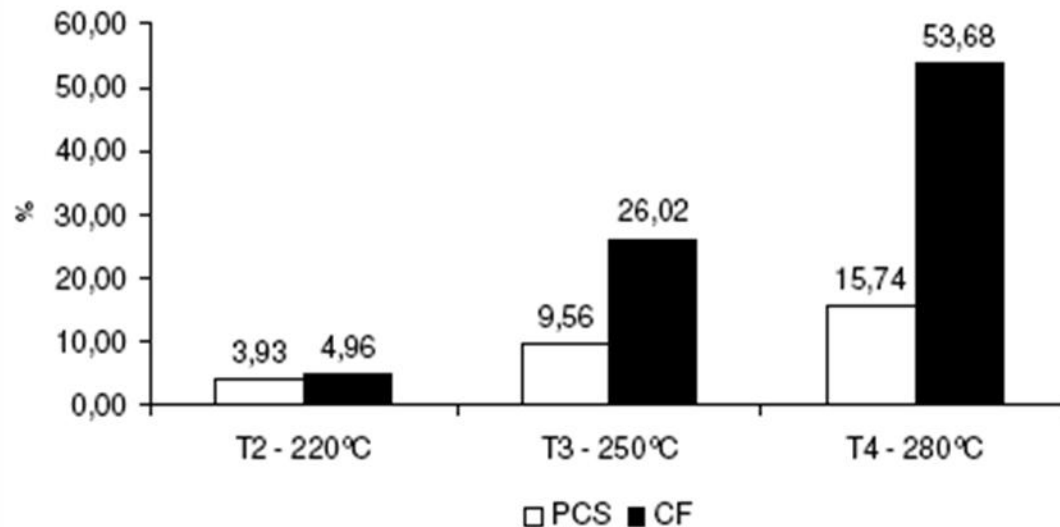
- O PCI (LHV) é similar para todas as biomassas não torradas;
- O rendimento energético é mais baixo para os resíduos agrícolas.

Eficiência do processo de torrefação

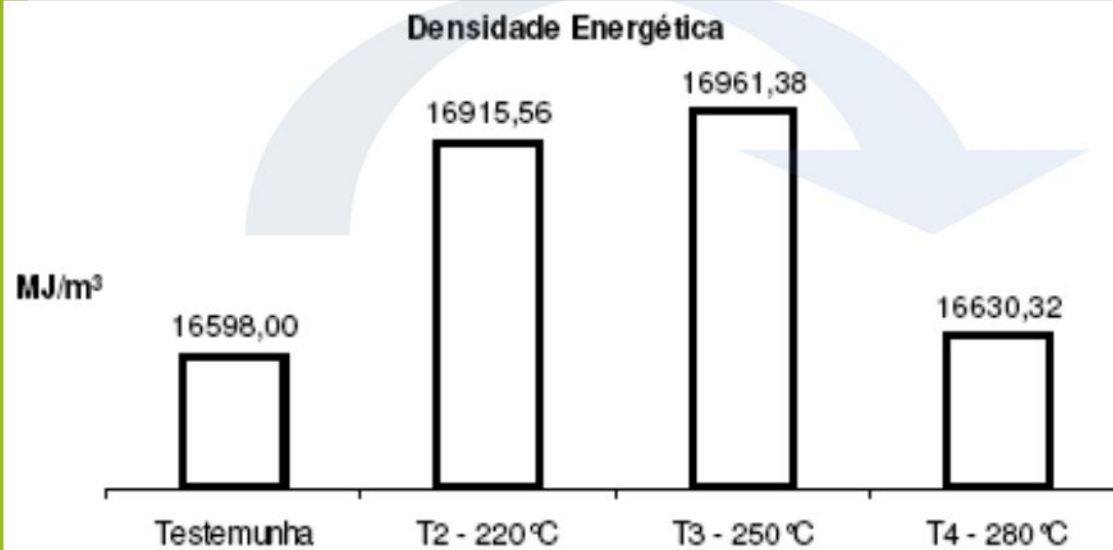


- O PCI (LHV) é similar para todas as biomassas não torradas;
- O rendimento energético é mais baixo para os resíduos agrícolas.

Eficiência do processo de torrefação



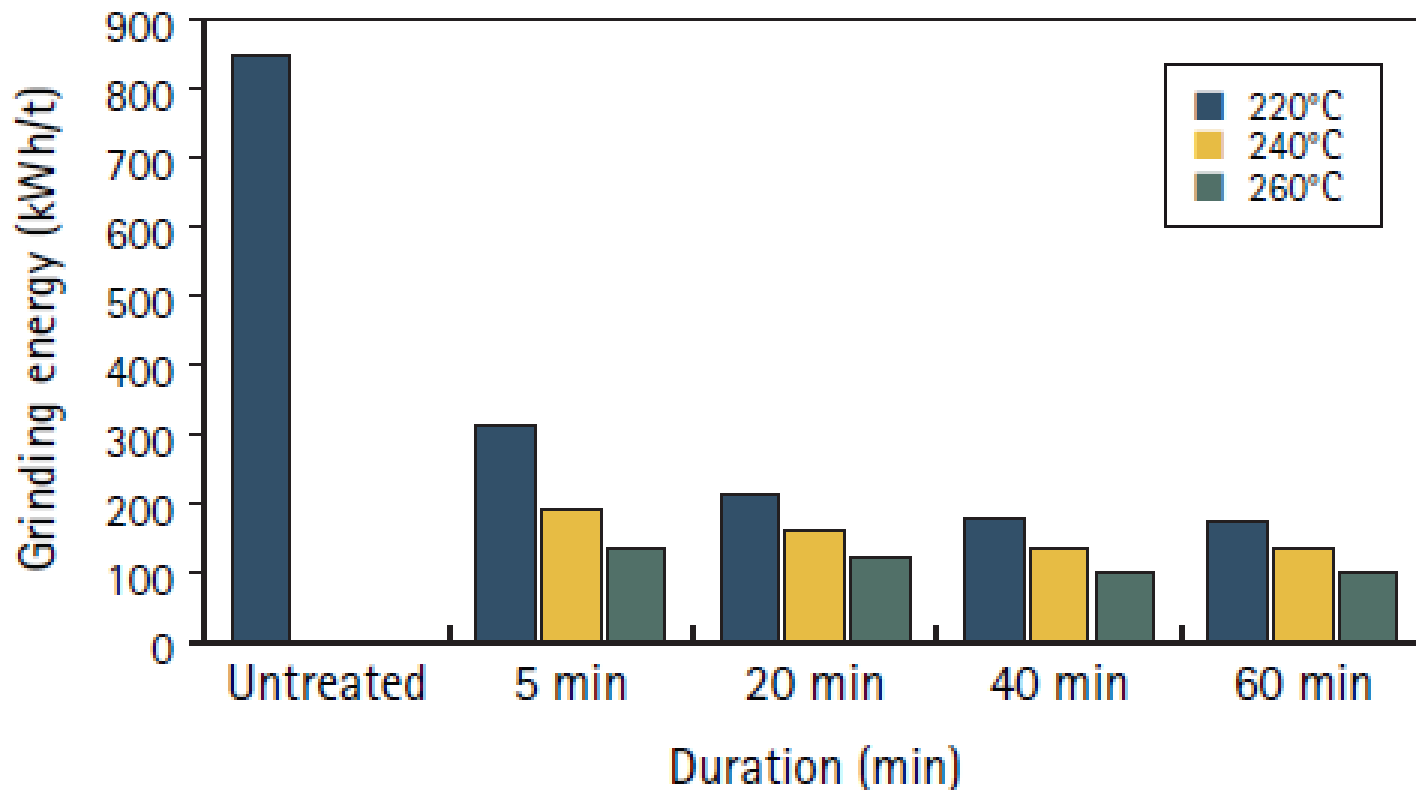
Ganhos percentuais em Poder Calorífico Superior e Carbono Fixo da madeira, de *Eucalyptus grandis* sob três tratamentos



Densidade energética da madeira de *Eucalyptus grandis* sob três tratamentos térmicos.

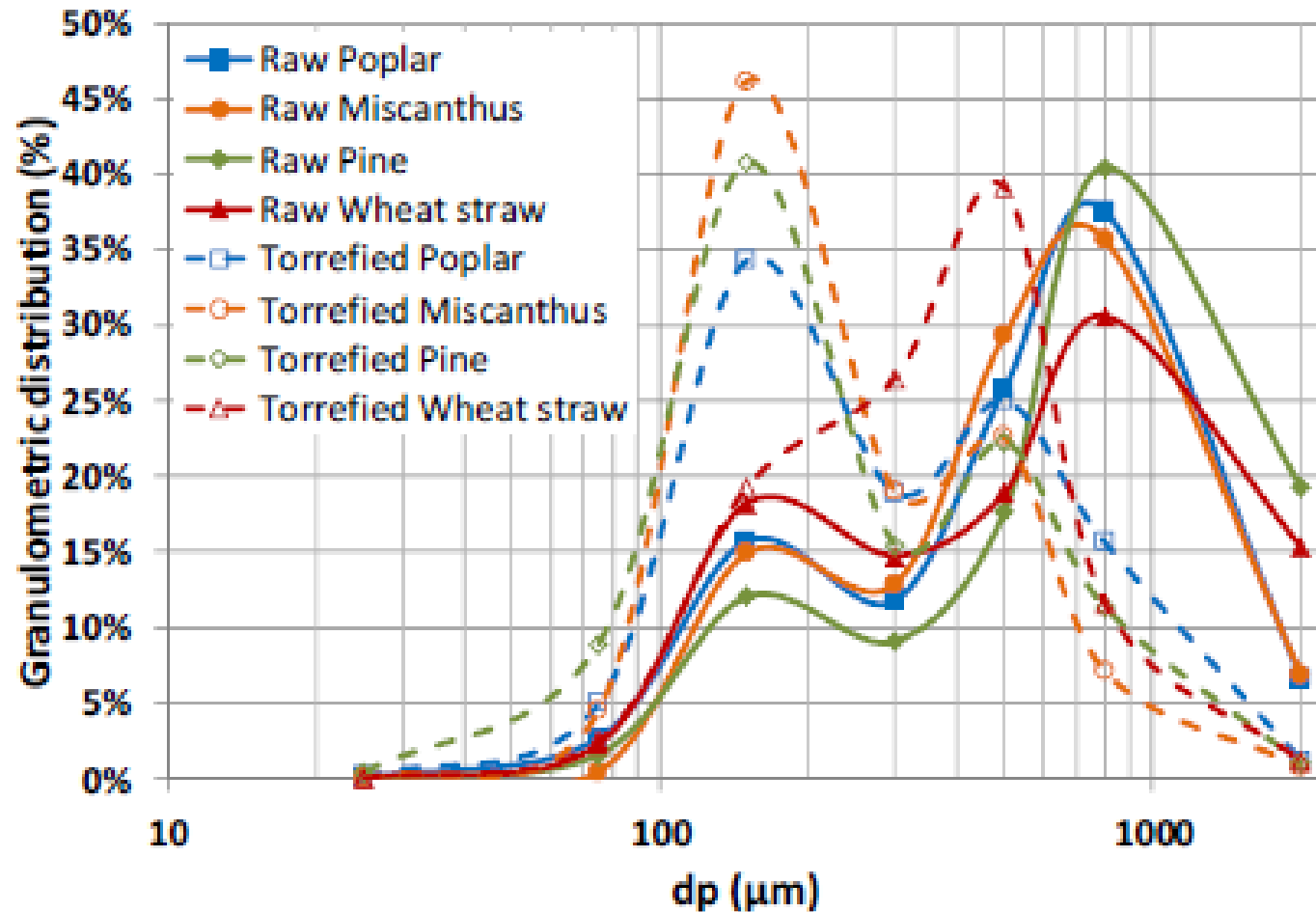
(Rodrigues, 2009)

Requerimento energético para moagem fina de madeira torrificada

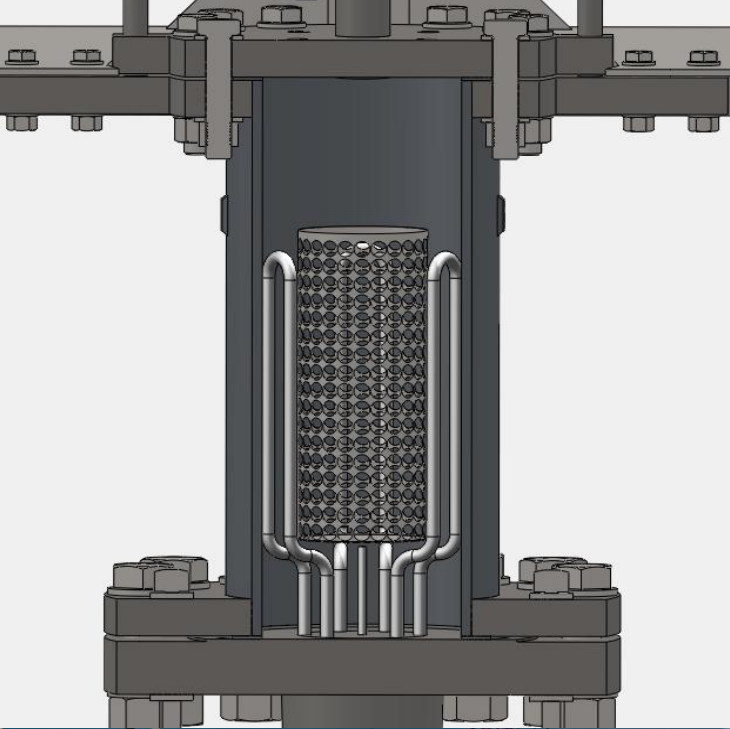


Energia de moagem de *beech* em função da duração da torrefação, (Reppelin, 2010)

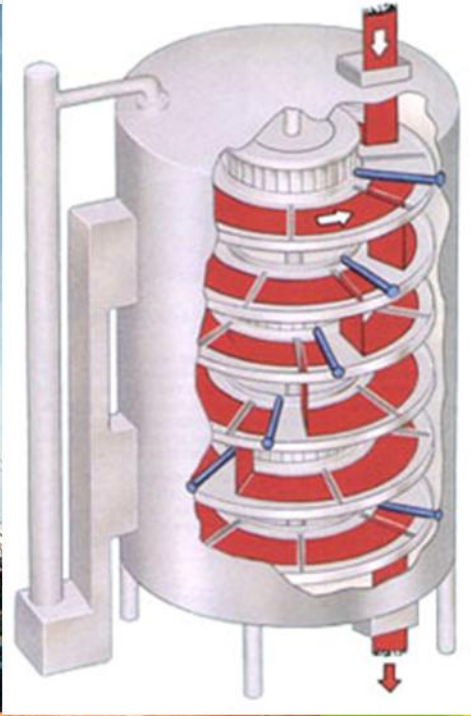
Tamanho das partículas



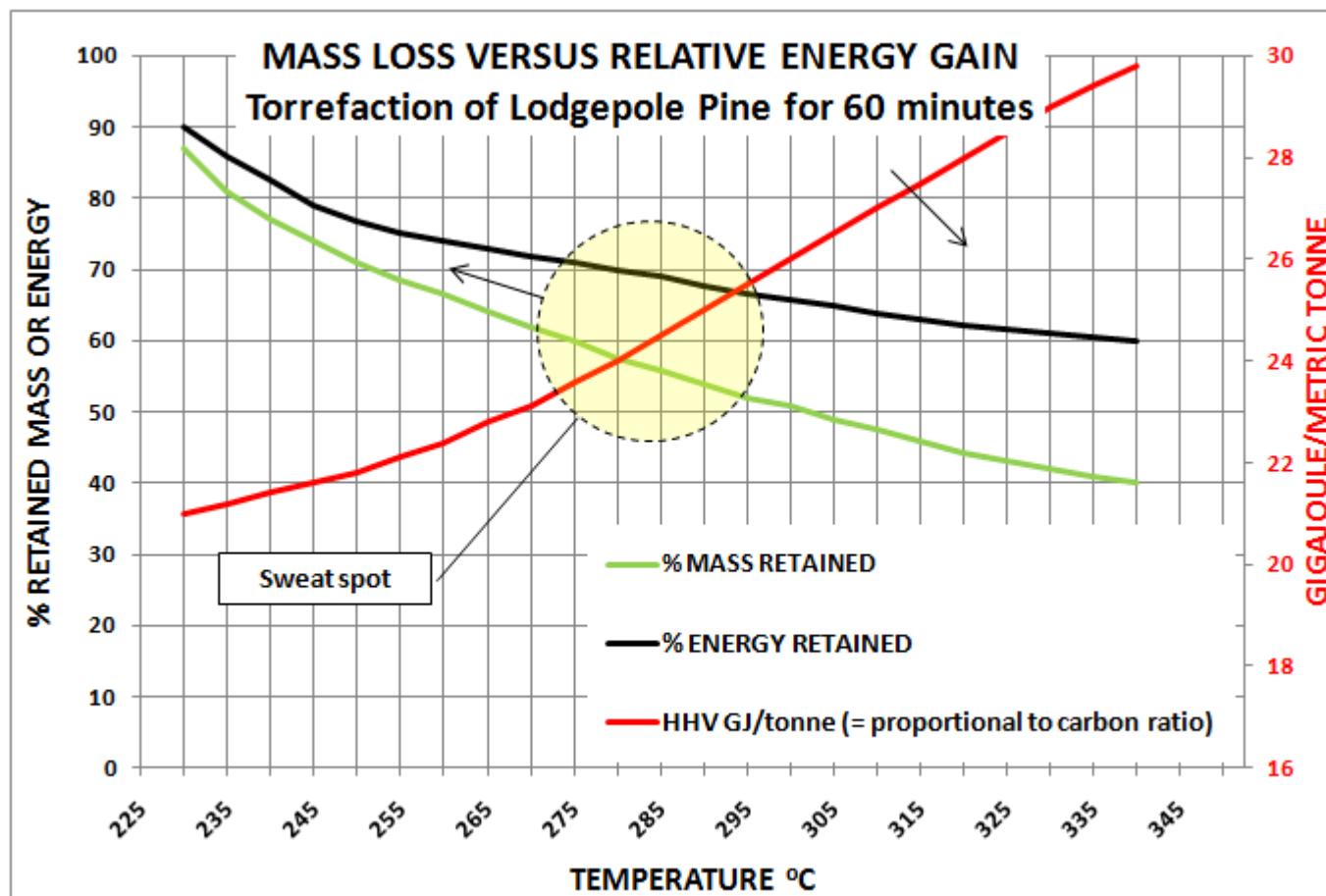
O pré-tratamento de torrefação reduz o tamanho das partículas e o consumo de energia na moagem (Leboeuf et al, 2012)



OS PROCESSOS



Tecnologias industriais



Mass loss vs relative energy gain (Melin, 2011)

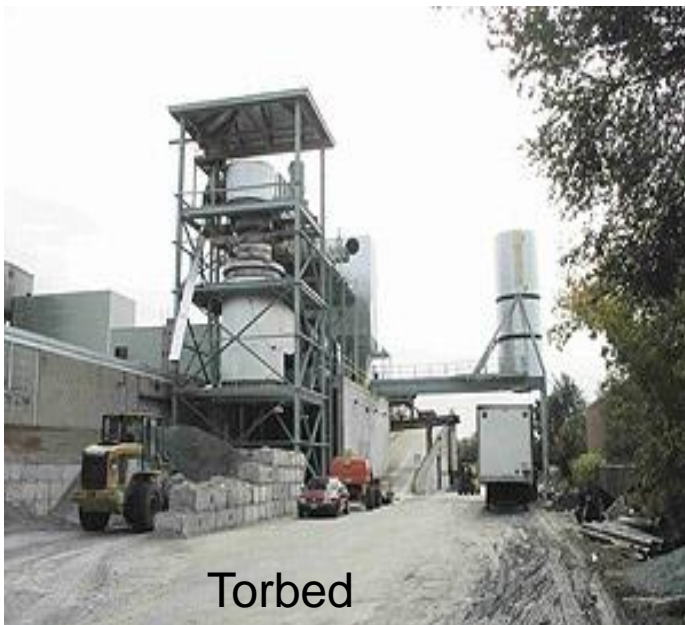
Tecnologias industriais...



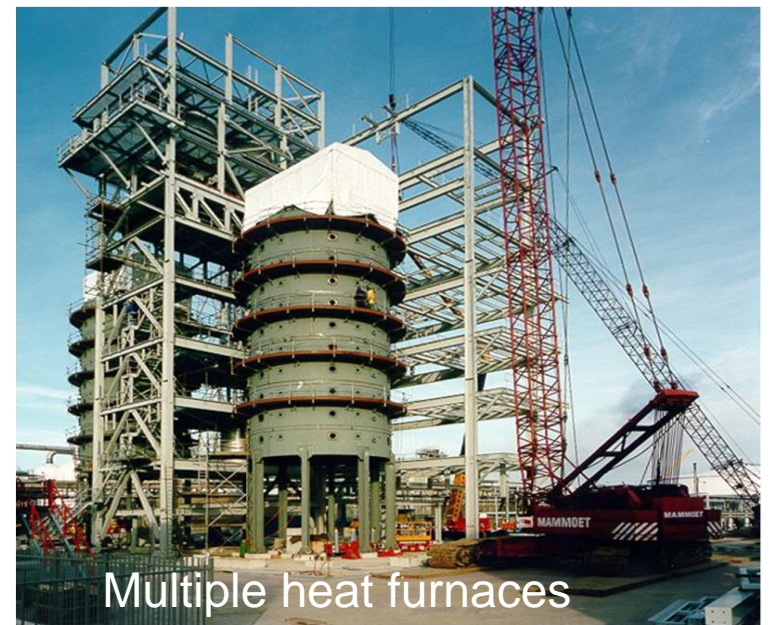
Rotating fluidized bed



Screw oven

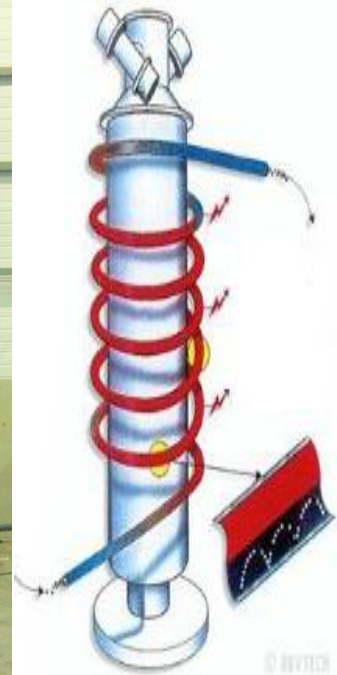
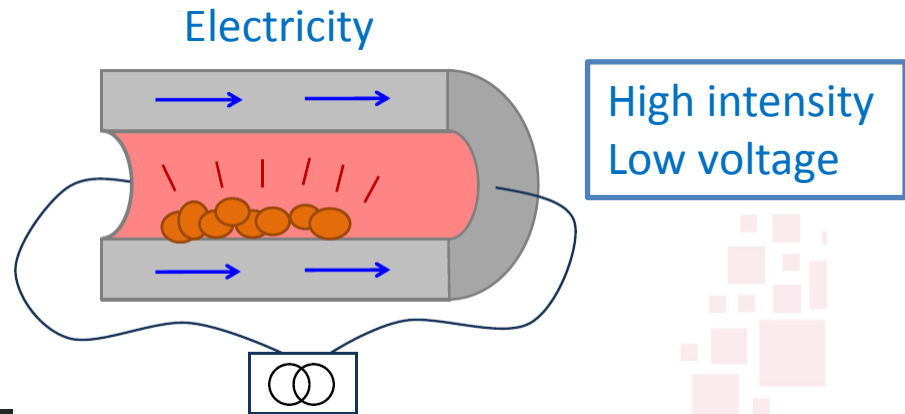


Torbed



Multiple heat furnaces

III - Solid torrefied product's physical, chemical



closed spiral tube by vibrations and Heating by direct contact
with an electrical impedance tube

(Rousset, 2012)

Tecnologias industriais: Comparação

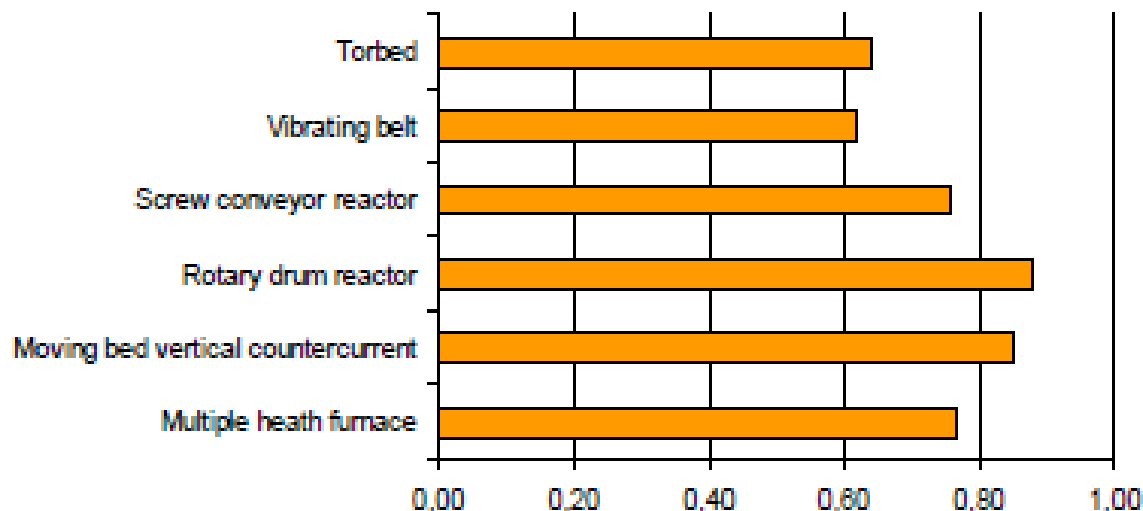
General criteria : energy efficiency, mechanical complexity of installation and ease in scaling-up

Constraints linked to process operation : control of temperature and resistance time, sealing

Constraints linked to feedstock processing : nature of biomass, fines, chips acceptance

Constraints associated with by-products processing : tars, corrosion resistant, easy cleaning

Overview of torrefaction technology: C.Casajus, F.Marias, P.Perard, B. De Guillebon, Albi, 2012



- Essa avaliação não mostra claramente qual tecnologia se destaca mais: todas tem vantagens e desvantagens;
- O forno rotativo e o leito vertical em movimento contracorrente parecem ser os mais promissores.

Tecnologias industriais: Comparação

Jurisdiction	Valid patents	Applications	Expired / Abandoned	Total
Canada	0	7	2	9
US	1	13	2	16
European	0	6	2	8
World	0	12	3	15

Assignee	Valid patents	Applications	Notes
ECN	0	4	Same patent, 4 jurisdictions. Also one rejected application
Wyssmont	0	2	Same patent (US & Canada)
Thermya	0	4	Same patent, 4 jurisdictions
Torr-Coal	0	4	Same patent, 4 jurisdictions
North Carolina State Univ.	0	1	US only. Agri-tech is licensee

development can be found in Europe and North America but initiatives in North America are less concrete, most of the developers are still in the financing and engineering phases.

Patrick ROUSSET (Cirad/SFB)
patrick.rousset@cirad.fr

